

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-028443

(43)Date of publication of application : 30.01.2001

(51)Int.Cl.

H01L 29/786
H01L 21/8242
H01L 27/108
H01L 21/336

(21)Application number : 2000-143424

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 11.05.2000

(72)Inventor : HISAMOTO MASARU
KATAYAMA KOZO

(30)Priority

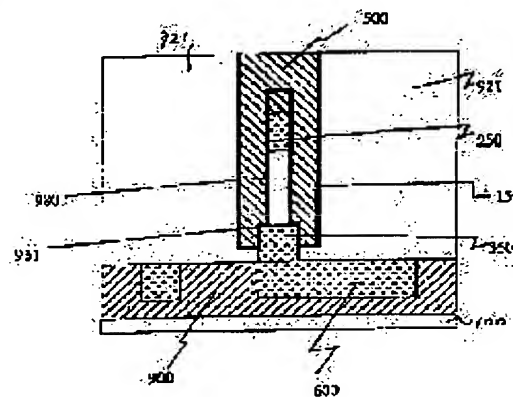
Priority number : 11132332 Priority date : 13.05.1999 Priority country : JP

(54) SEMICONDUCTOR DEVICE AND MANUFACTURE THEREOF

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce leakage current by providing a second insulation film on first semiconductor regions in semiconductor regions having first conductive regions, a first insulation film, first semiconductor regions and second conductive regions and providing third conductive regions on the surface of the second insulation film.

SOLUTION: As for sources 250 and drains 350, a gate 500 brings the electric field effect on a channel 150 through an insulation film 980 from both sides. Carriers tunneling an insulation film 931 between the drain 350 and the channel 150 are controlled by the gate 500. In this structure, the electrode 350 can strongly suppress the leakage current because of a barrier 931 sandwiched between the channel 150 and this electrode. When the electrode 250 uses a polycrystalline Si-doped at a high concentration, the electrode becomes a channel feed source and hence n- and p-type devices can be formed according to the conductivity type depending on an impurity.



LEGAL STATUS

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-28443

(P2001-28443A)

(43)公開日 平成13年1月30日(2001.1.30)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-コ-ト*(参考)
H 0 1 L 29/786		H 0 1 L 29/78	6 2 6 A
21/8242		27/10	3 2 1
27/108		29/78	6 1 3 B
21/336			6 2 2
			6 2 7 G
審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 24 頁)			

(21)出願番号 特願2000-143424(P2000-143424)

(22)出願日 平成12年5月11日(2000.5.11)

(31)優先権主張番号 特願平11-132332

(32)優先日 平成11年5月13日(1999.5.13)

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 久本 大

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 片山 弘造

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74)代理人 100068504

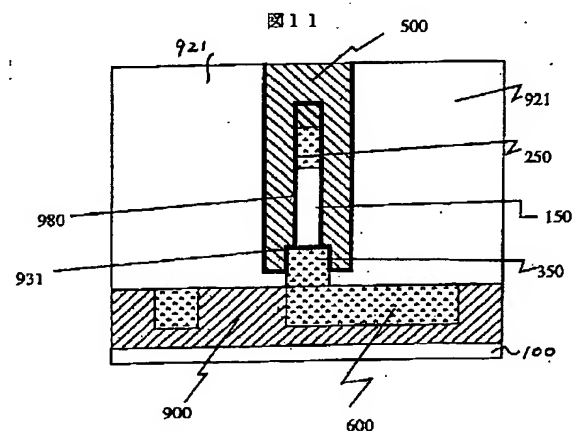
弁理士 小川 勝男 (外2名)

(54)【発明の名称】 半導体装置およびその製造方法

(57)【要約】

【課題】 本願発明はリーク電流の極めて低い電界効果型トランジスタを提供することである。本願発明の別な目的は優れた情報保持特性をもった半導体記憶装置を提供することである。更には、本願は新規な装置をリーク電流の極めて低い電界効果型トランジスタ、あるいは半導体記憶装置を簡便に製造する製造方法を提供するものである。

【解決手段】 縦形に配置したショットキー接合に薄い絶縁膜を挟んだ接合により、ソース、ドレイン電極を形成し、ゲート電極により該接合にある絶縁膜のトンネルを制御せしめる構造にする。また、該ゲート電極は、縦形のチャネル両側に配置し、接合におよぼす電界効果を有効に働かせることができるようにすることで、オフ状態での接合リークを極めて低いものにすることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の導電領域、第1の絶縁膜、第1の半導体領域、および第2の導電領域とを有する半導体領域と、前記第1の半導体領域に設けた第2の絶縁膜と、前記第2の絶縁膜の膜面に設けられた第3の導電領域と、を有することを特徴とする半導体装置。

【請求項2】 第1の導電領域、第1の絶縁膜、第1の半導体領域、および第2の導電領域とが積層された半導体積層領域と、少なくとも前記第1の半導体領域の前記半導体積層領域の積層方向とは交差する側面に設けた第2の絶縁膜と、前記第2の絶縁膜の膜面に設けられた第3の導電領域と、を有する半導体装置。

【請求項3】 ソースとドレインとゲート電極およびチャネル領域を有する絶縁ゲート型電界効果トランジスタであって、ソースまたはドレイン電極となる第1の導電領域上に第1の絶縁膜層を有し、前記第1の絶縁膜の上部にチャネル領域となる半導体材料層を有し、前記半導体材料層上にドレインまたはソース電極となる第2の導電領域を有し、前記チャネル領域側面に第2の絶縁膜層を有し、前記第2の絶縁膜層を介して電界効果を前記チャネル領域におよぼすゲート電極を有することを特徴とする半導体装置。

【請求項4】 前記第1の導電領域が金属材料なることを特徴とする請求項1より請求項3に記載の半導体装置。

【請求項5】 前記第1の導電領域が高濃度に不純物をドーピングすることで金属化された半導体材料なることを特徴とする請求項1より請求項3に記載の半導体装置。

【請求項6】 前記第1の導電領域が金属材料あるいは高濃度に不純物をドーピングすることで金属化された半導体材料により形成され、前記第2の導電領域が高濃度に不純物をドーピングすることで金属化された半導体材料により形成されていることを特徴とする請求項1より請求項3に記載の半導体装置。

【請求項7】 第1の導電領域、第1の絶縁膜、第1の半導体領域、および第2の導電領域とを積層した半導体積層領域と、前記第2の半導体領域の前記半導体積層領域の積層方向とは交差する側面に設けた第2の絶縁膜と、前記第2の絶縁膜の膜面に設けられた第3の導電領域と、を有し、且つ前記第1あるいは第2の導電領域の内のいずれかが高濃度に不純物をドーピングした多結晶シリコンにより形成され、前記第1あるいは第2の導電領域の内の他方のいずれかが金属により形成され、前記第1の導電領域から第2の導電領域に流れる電流経路にシリコン及びトンネル絶縁膜が配置されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項8】 請求項1より請求項7に記載された半導体装置のいずれかを情報書き込み装置とし、前記第1の導電領域を電荷保持部とし、この電荷保持部に電氣的に

接続された情報読み出し素子を有する半導体記憶装置。

【請求項9】 半導体基板と、当該半導体基板に相対して設けられた第1不純物領域及び第2の不純物領域と、少なくとも前記第1不純物領域及び第2の不純物領域に挟まれた第1の半導体領域を覆う第1の絶縁膜と、当該第1の絶縁膜の上部に設けられた第1の導電領域、第2の絶縁膜、第2の半導体領域、および第2の導電領域とを有する半導体領域と、前記第2の半導体領域の前記半導体領域の積層方向とは交差する側面に設けた第3の絶縁膜と、前記第3の絶縁膜の膜面に設けられた第3の導電領域と、を有することを特徴とする半導体記憶装置。

【請求項10】 半導体基板の上部に第1の絶縁膜を形成する工程と、この第1の絶縁膜上に金属層もしくは高濃度に不純物をドーピングすることで金属化された半導体材料層を形成する工程と、前記金属層もしくは金属化された半導体材料層の上部に第2の絶縁膜を形成する工程と、半導体材料層をアモルファス状態で形成する工程と、このアモルファス状態の半導体材料層に所定の金属層を形成する工程と、加熱によって当該金属によって前記アモルファス状態の半導体材料層を結晶化する工程を有する半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本願発明は、大規模集積化が可能な半導体装置、並びにこれを用いた半導体記憶装置に関するものである。更には、本願発明はこの半導体装置あるいは半導体記憶装置の製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】現在の代表的な集積化半導体装置であるシリコン基板を用いたULSIのトランジスタの主要部は、図1に示すような断面構造を有している。CMOSで用いているトランジスタは、半導体基板100に、ソース、ドレインとして高濃度に不純物をドーピングした拡散層(200、300)を電極領域として用いた絶縁ゲート型トランジスタを用いて構成されている。尚、符号500はゲート電極である。

【0003】絶縁ゲート型トランジスタ、その代表例たるMOSFETは、制御するチャネルのキャリアが、チャネルとなる基板と反対導伝型キャリアのみを用いる。このことから絶縁ゲート型トランジスタはユニポーラデバイスと呼ばれている。ユニポーラデバイスでは、ソース、ドレインといった電極が基板100と電氣的に分離されていることがデバイス動作上の基本となる。通常、拡散層と基板は、異なる導伝型を用いることでPN接合を形成し、接合のビルトイン障壁によってそれぞれの電極と基板を電氣的に分離してきた。しかし、ソース、ドレイン間の距離が短くなるに従い、この障壁のみでは良好な分離を果たすことができず、基板へのリーク、そしてソース、ドレイン間にリーク電流を生じる問題が顕著

になってきた。こうした電流リークは、ドレイン電界の影響がソース側まで及ぶため生じるものと考えられている。そのため、リークを抑制するには、前記不純物拡散層200、300の深さを小さく（浅く）することで、ソース、ドレインの対向面積を小さくすることが有効である。この深さは図1にXjとして示されている。しかし、拡散層深さを浅くすると、拡散層の抵抗が増大し、トランジスタの電流駆動力を低下させる問題が生じてきている。

【0004】また、これとは異なるアプローチとして、拡散層電極周囲を絶縁膜層で囲み、電極とチャネル（基板）の間にリークにたいするバリアを設けることが考えられている。また、日本国公開特許公報、特開平10-200001に見られる構造は、拡散層電極とチャネル間のみではなく、さらに、チャネル部にも多層の絶縁膜層を差し挟んだ構造になっている。但し、後者では、その製造工程上、チャネル部が単結晶ではなく多結晶により構成された、一種の薄膜トランジスタ（TFT：Thin Film Transistor）と呼ばれる構造とみることができる。これらの構造では、拡散層抵抗を増大させることなくリークを抑制することは可能であるが、絶縁膜を介してチャネル電流を流すことが必要となるため、電流駆動力を低下させる問題が生じてくる。

【0005】浅接合化による電極抵抗増大を解決する方法として、ソース、ドレインに金属材を用いることが提案されている。一般には、電極と基板との分離がPN接合ではなく、金属と半導体接触部に形成されるショットキー接合によりなされているため、ショットキーバリアソース・ドレイン MOSFET (SB-MOSFET) と呼ばれている。これらの構造については、例えば、アプライド、フィジックス、レター、65巻、618頁から620頁 (Appl. Phys. Lett. 65(5), pp. 618-620, 1994) において、Tucker等により検討されている。また、実際の試作としては、エス、ピー、アイ、イー、コンファレンス、オン、マイクロエレクトロニクス、デバイス、テクノロジー、ツー、1998年7月、エス、ピー、アイ、イー、3506巻、230頁から233頁 (Part of the SPIE Conference on Microelectronic Device Technology II, SPIE vol. 3506, pp. 230-233) において Wang 等の報告がみられる。これらの報告では、ショットキー接合を用いた効果として、ソース、ドレイン間の距離を小さくした短チャネル構造でも、接合間のリークを有効に抑えることができることが明らかになってきた。しかし、PN接合に比べ良好な接合を形成することが困難なため、基板との間のリークが増大してしまい、ソース、ドレイン間のリークの低減効果を打ち消してしまったり、接合のオン抵抗が高いため、結局、電極抵抗の低減効果も見えなくなっている。

【0006】又、半導体記憶装置に用いるゲインセルとしては、例えば書き込み用にp型MOS、読み取り用に

n型MOSを用いた例が、Shoji Shukuri らによるIEDM92、1006-1008に見られる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】本願の第1の目的は、リーク電流の極めて低い絶縁ゲート型電界効果型トランジスタを提供するものである。即ち、本願発明は、短チャネル化を進めるために増大してきたリーク電流を低減するために行われてきた上記の様々な対策により生じる駆動力の低下を抑制するものである。

【0008】本願の第2の目的は、記憶特性の良好な半導体記憶装置を提供するものである。前記のリーク電流の低い絶縁ゲート型電界効果型トランジスタを用いて、リーク電流の少ない3端子スイッチング素子を得ることができる。従って、このことは、特に、半導体記憶素子を形成する上で有効なものとなる。

【0009】本願の更に別な目的は、前記の半導体装置、あるいは半導体記憶装置等を提供する為の製造方法を提供するものである。

【0010】

【課題を解決するための手段】先ず、ここでは発明の理解を容易にする為に、本願発明の発明思想の骨子を説明する。そして、発明の実施の形態の欄に更に詳細な発明の諸形態を説明する。

【0011】ショットキー接合では、接合を挟む異なる物質の界面ができることにより、PN接合に比べ接合のリークが多くなっている。従来の図1に示した構造をもとにSB-MOSFETを形成すると、スイッチングに用いているのは、ゲート端部の接合のみで、底面等はスイッチング動作上は不要であるにも関わらず、接合の面積のほとんどを占めることになるため、この底面がリークの主要発生源となっている。こうした不要なリークを抑えるには、図2に模式的に示すように、ゲート500、510により、両側からチャネル101を挟む構造にし、不要な接合をなくし、接合をチャネル方向のみとすることが有効である。本発明における具体的構造については、実施形態の説明において、製造方法をもとに詳細に述べる。この構造では、スイッチングに必要なゲート端部のみに接合が設けられており、不要な接合によるリークを生じることがない。

【0012】さらにリークを抑えるため、金属と半導体の間にリークを妨げる障壁となる絶縁層を挟む構造をとっている。これは、拡散層電極周囲を絶縁膜で囲む構造を適用したものである。

【0013】図3は通例のショットキー接合を説明する為のバンド構造図である。図3には、金属部350と半導体部110の接合領域、及び価電子帯の上端、伝導帯の下端、およびフェルミ準位Efが示される。図4は本願発明で用いる接合を説明する為のバンド構造図である。図4の構成では図3の構造に絶縁物層931が設け

られている。

【0014】すなわち、ショットキー接合では図3のバンド図に示したように、ショットキーバリアと呼ばれる障壁 P_m によりリーク電流を抑えている。そこに、図4にみられるように、 P_m に比べより大きな障壁高さ P_i を持った絶縁膜をはさむことで、金属側から半導体側に通り抜けるキャリアを低減することができる。このショットキー接合に代えて絶縁層を挟んだ構造の接合は、MIS接合 (Metal Insulation Junction) として知られている。この例は、例えば、Sze著のフィジックス オブ セミコンダクタ デバイシーズ、第2版、ジョンウィリー アンド サンズ (Physics of Semiconductor Devices, second edition, JOHN WILEY & SONS) の540頁から553頁に記述されている。このように高い障壁高さ P_i を持つ絶縁層を挟んでも、絶縁層の膜厚を極めて薄くすることで、トンネル現象を促進できることから、接合のスイッチング動作させることができる。

【0015】一般に、この絶縁膜をトンネル現象により通り抜けるキャリアは、障壁高さ、膜厚、およびキャリアのエネルギーに依存している。デバイス構造としては、金属材と絶縁膜間の障壁高さ、絶縁膜の膜厚、非平衡状態のポテンシャル分布を制御することができる。

【0016】本発明の構造では、さらに、縦形のチャネル配置をとることにより、平面面積を増やすことなくチャネル長の大きなデバイスを形成している。これにより、短チャネル化によるリーク電流の増大を抑えることができる。さらに、ゲートを両側に配置することで、より有効に電界効果を活かすことができるようになる。この縦形構造をとることで、従来困難であった非対称型系のトランジスタを容易に形成することができるようになっている。そのため、絶縁膜による障壁は片側のみに形成することができ、駆動力の低下を抑制することができる。

【0017】これらの効果を有効に引き出すことで、リーク電流を極めて低く抑制できる3端子トランジスタ構造を得ることができる。また、この低リーク特性は、記憶保持および、書き込み、読み出し動作に優れた半導体記憶装置を形成する上で有効であることを、実施例をもとに説明する。

【0018】

【発明の実施の形態】本願発明の実施の形態を具体的に説明するに先だて、本願発明の主な諸形態の概略を列挙し、説明する。

【0019】本願に係る半導体装置

本願発明の半導体装置の代表的な第1の形態は、第1の導電領域、第1の絶縁膜、第1の半導体領域、および第2の導電領域とを有する半導体領域と、少なくとも前記第1の半導体領域に設けた第2の絶縁膜と、前記第2の絶縁膜の膜面に設けられた第3の導電領域と、を有する

半導体装置である。

【0020】本発明は新規なスイッチ素子を提供することが出来る。そして、後述するように、新規な半導体記憶装置のスイッチ部として極めて有用である。又、本発明の構造は通例の半導体分野の製造方法によって製造することが出来る。従って、本発明の半導体装置は極めて安価に提供することが出来る。

【0021】本願発明の半導体装置の代表的な第2の形態は、第1の導電領域、第1の絶縁膜、第1の半導体領域、および第2の導電領域とが積層された半導体積層領域と、少なくとも前記第1の半導体領域の前記半導体積層領域の積層方向とは交差する側面に設けた第2の絶縁膜と、前記第2の絶縁膜の膜面に設けられた第3の導電領域と、を有する半導体装置である。

【0022】上記の諸形態では、第1の導電領域、第1の絶縁膜、第1の半導体領域、および第2の導電領域とを有する半導体領域が、絶縁ゲート型電界効果型トランジスタの電荷移送手段及び電荷移送領域を構成する。前記第1の半導体領域は、いわゆるチャネル領域に、前記第1及び第2の導電領域はソースあるいはドレインのいずれかに相当する。これらをソースあるいはドレインと称するかはその動作状態に依存する相違にすぎない。そして、前記第1の導電領域、第1の絶縁膜、第1の半導体領域の半導体領域が、図4を用いて説明したバンド構造を有する積層体である。本形態において、前記第1の絶縁膜を設けた点がわけても重要な点である。

【0023】この第1の絶縁膜は、通例第1の導電領域として用いる金属の酸化物、酸化度の低い酸化物、窒化物、窒化度の低い窒化物、シリコンと金属の酸化物、シリコンと金属の窒化物、あるいはこれらの内の少なくとも2者を含む絶縁物などが用いられる。より具体的に、これらの金属とこれに適した絶縁物の諸例をかかげれば、耐熱金属とその酸化物、窒化物、あるいはシリサイドが好適である。更に、具体例をかかげれば、金属あるいは金属相当の導電体として、チタン、チタンシリサイド、タングステン、タングステン・シリサイド、コバルト、コバルト・シリサイド、白金、白金シリサイド、ニッケル、ニッケル・シリサイドなどをあげることが出来る。絶縁物の具体例としては、シリコン酸化物、シリコン窒化物などが代表例である。更に、絶縁物の例としては、前記各種金属あるいは耐熱金属の酸化物、あるいは窒化物などをあげることが出来る。チタンとチタン・シリサイドなどは熱的に安定であり、好ましい例である。シリコン酸化物、あるいはシリサイド等は通例の半導体分野に製造工程に多く用いられている材料であり、本願発明の半導体装置、半導体記憶装置の製造に好都合である。勿論、その要求によって、前記例示した金属および絶縁物を適宜組み合わせ用いることが出来る。

【0024】そして、これらの絶縁膜が当該接合におけるトンネル効果を奏する厚さとなす。この絶縁膜の厚さ

例をかかげれば、シリコン酸化物の場合、3 nm以下、好ましくは1 nmより2 nm程度が多用される。

【0025】尚、第1の導電領域と第1の絶縁膜の具体例について言及したが、これらの諸例は、以下本願明細書に記載される発明の諸形態、実施の諸形態に対しても適用できるものであることは言うまでもない。

【0026】第3の形態は、ソースとドレインとゲート電極およびチャネル領域を有する絶縁ゲート型電界効果トランジスタにおいて、ソースまたはドレイン電極となる第1の導電領域上に第1の絶縁層を有し、前記第1の絶縁膜の上部にチャネル領域となる半導体材料層を有し、前記半導体層上にドレインまたはソース電極となる第2の導電領域を有し、前記チャネル領域側面に第2の絶縁膜層を有し、前記第2の絶縁膜層を介して電界効果を前記チャネル領域におよぼすゲート電極を有することを特徴とする半導体装置とすることが出来る。

【0027】上記の各部の材料の選択によって、下記の諸形態が考えられる。

【0028】本願の第4の形態は、前記の諸形態における第1の導電領域が金属材料により形成されているものである。

【0029】更に、本願の第5の形態は、前記の諸形態における前記第1の導電領域が高濃度に不純物をドーピングすることで実質的に金属化された半導体材料により形成されているものである。

【0030】更に、本願の第6の形態は、第2の導電領域が高濃度に不純物をドーピングすることで実質的に金属化された半導体材料により形成されているものである。

【0031】本願発明においては、前記の各導電領域を組み合わせ用いることが出来る。即ち、本願の第7の形態は、前記第1の導電領域が金属材料あるいは高濃度に不純物をドーピングすることで金属化された半導体材料により形成され、前記第2の導電領域が高濃度に不純物をドーピングすることで金属化された半導体材料により形成されているものである。

【0032】本願の第8の形態は、前記第1の導電領域が高濃度に不純物をドーピングすることで金属化された半導体材料により形成され、前記第2の導電領域が金属材料あるいは高濃度に不純物をドーピングすることで金属化された半導体材料により形成されているものである。

【0033】前記半導体材料を母材とした金属化に必要な不純物のドーパ量は、通例の半導体分野における範囲を用いて十分である。シリコンに対してのドーパ量は通例、 10^{20} cm^{-3} 程度以上の範囲である。

【0034】これらのドーパ量に関する諸例は、本願明細書に記載される発明の諸形態、実施の諸形態に対しても適用できるものであることは言うまでもない。

【0035】尚、本願発明の半導体装置において、第1

の導電領域および第2の導電領域に挟まれた半導体領域が、電界効果型トランジスタの電荷移送領域、即ち、いわゆるチャネル領域を構成する。従って、この意味において、本願発明においては、電荷移送領域は、半導体領域とトンネル絶縁膜との双方で電荷移送領域を構成することとなる。従って、この意図を示す形態の例は次のように言うことが出来る。

【0036】本願発明の第9の形態は、第1の導電領域、第1の絶縁膜、第1の半導体領域、および第2の導電領域とを有する半導体領域と、前記第2の半導体領域の前記半導体領域の積層方向とは交差する側面に設けた第2の絶縁膜と、前記第2の絶縁膜の膜面に設けられた第3の導電領域と、を有し、且つ前記第1あるいは第2の導電領域の内のいずれかが高濃度に不純物をドーピングした多結晶シリコンにより形成され、前記第1あるいは第2の導電領域の内の他方のいずれかが金属により形成され、前記第1の導電領域から第2の導電領域に流れる電流経路に、シリコンおよびトンネル絶縁膜が配置されている半導体装置である。

【0037】上記の形態をより具体的に示せば、本例はソースが高濃度不純物をドーピングした多結晶シリコンにより形成され、ドレインが金属により形成され、ソースからドレインに流れる電流経路において、シリコンとトンネル絶縁膜が配置されている半導体装置とすることが出来る。

【0038】これまで述べてきた本願発明の諸形態の半導体装置の更なる実用上の形態を示せば、当該半導体装置のスイッチングがオフ状態においてチャネル部のキャリアが空乏化されている半導体装置であると言うことが出来る。半導体記憶装置次に、これまで説明してきた半導体装置、即ち絶縁ゲート型電界効果型トランジスタを用いた半導体記憶装置について説明する。

【0039】当該半導体記憶装置の代表的な第10の形態は、前述の本願発明の諸半導体装置のいずれかを情報書き込み装置とし、前記第1の導電領域を電荷保持部とし、この電荷保持部に電気的に接続された情報読み出し素子を有する半導体記憶装置である。

【0040】そして、前記情報読み出し素子が電界効果型トランジスタであるのが、より実際的な半導体記憶装置である。

【0041】そして、この形態の半導体記憶装置において、前記電荷保持部が絶縁膜で囲まれ、前記電荷保持部に保持した電荷量により情報を記憶することが、より好ましい。

【0042】このように、本願発明の半導体装置の諸形態を情報書き込み手段として用いて半導体記憶装置を構成する場合、当該半導体記憶装置の電荷蓄積ノード側に、前記本願発明の係わる半導体装置のトンネル絶縁膜に接して設けられた導電領域を接続するのが好ましい。それは、蓄積電荷を確保するにとより好都合であるから

である。勿論、当該半導体装置の第1および第2の導電領域のいずれを当該半導体記憶装置の電荷蓄積ノード側に設置しても、半導体記憶装置を提供できることは言うまでもない。

【0043】又、本願発明の半導体装置の諸形態を情報書き込み手段として用いて半導体記憶装置を構成する場合、N型の絶縁ゲート型電界効果型トランジスタを横型の素子として配置し、P型の絶縁ゲート型電界効果型トランジスタとして本願に係るトンネル絶縁膜をい用いた縦型の素子として用いるのがより好都合である。

【0044】本願発明の半導体記憶装置の代表的な第11の形態は、キャリアを移動せしめる第1の経路と、前記第1の経路の伝導性を変化させる電界を生成する電荷を蓄積する為の手段と、所望の電圧に対して所望の電荷を前記電荷を蓄積する為の手段に供給する手段とを、有し、且つ所望の電荷を前記電荷を蓄積する為の手段に供給する手段が、金属性電極部、トンネル絶縁膜、および半導体領域とを有する接合を有することを特徴とすることである。

【0045】言い換えれば、この形態は、本願発明に係る半導体装置なる電界効果型トランジスタ(T1)のソースまたはドレイン電極と、半導体基板上に形成された絶縁ゲート型電界効果型トランジスタ(T2)を有する半導体記憶装置において、T1のチャネルを介してT2のゲート電極に接続がなされている半導体記憶装置である。そして、トンネル絶縁膜を利用してスイッチ動作を行なうものである。前述の本願発明に係る半導体装置なる電界効果型トランジスタ(T1)は、少なくとも、導電領域—チャネル領域—トンネル絶縁膜—金属導電領域の積層構造を有する。ここで、導電領域、ないしは金属導電領域が、電界効果型トランジスタのソース、あるいはドレインに相当するものである。従って、前記T1とT2の接続は次の形態がある。

【0046】(1) 導電領域—半導体領域—トンネル絶縁膜—金属導電領域—T2のゲート、

(2) 金属導電領域—トンネル絶縁膜—半導体領域—導電領域—T2のゲート

そして、この場合、実際の構造においては、前記(1)における金属導電領域—T2のゲート、あるいは前記(2)における導電領域—T2のゲートは同一層で形成し、その両者の役割を兼ねることが、より实际的である。

【0047】本願発明の半導体記憶装置の動作を要約すれば、前記第11の形態にある電荷によって情報を記憶させた半導体記憶装置において、書き込み素子T1を介して電荷を出し入れし、T2を電荷の保持状況を読み出す読み出し素子としていると言うことが出来る。

【0048】本願発明の半導体装置の、第12の形態は、半導体基板と、当該半導体基板に相対して設けられた第1の不純物領域及び第2の不純物領域と、少なくと

も前記第1の不純物領域及び第2の不純物領域に挟まれた第1の半導体領域を覆う第1の絶縁膜と、当該第1の絶縁膜の上部に設けられた第1の導電領域、第2の絶縁膜、第2の半導体領域、および第2の導電領域とを有する半導体領域と、前記第2の半導体領域の前記半導体領域の積層方向とは交差する側面に設けた第3の絶縁膜と、前記第3の絶縁膜の膜面に設けられた第3の導電領域と、を有する半導体装置である。

【0049】本形態は、スイッチ素子部を構成する電界効果型トランジスタ部が、そのチャネル領域が当該半導体記憶装置の基板に交差、ないしは実質的に直交する方向に構成されている。これはいわゆる縦形半導体装置と称されている形態である。従って、この形態は装置の小型化に有利である。更に、前記第2の半導体領域の側壁が絶縁膜で覆われた構造を採用すれば、よりリーク電流の少ない半導体記憶装置を提供することが出来る。

【0050】本願発明の主なその他の形態
本願の第13の形態は、前記第10の半導体装置において、書き込み素子のゲート電極配線と基板電位間に電位を安定化させる手段を有する集積半導体装置である。より具体的な要請は、電源が切れた場合においてもゲート電極と導電領域との間の相対的な電位関係が固定されていることである。この電位の安定化の為の手段の最も簡単で実用的なものは抵抗である。しかし、本要請に答えるには多くの回路を用いることが出来る。

【0051】本願の第14の形態は、例えば、前記第11、ないしは前記第12の半導体記憶装置を少なくとも2つ用いた集積半導体装置において、読み出し素子T2が電気的に縦積みされた配置をとっている半導体装置である。

【0052】本願の第15の形態は、例えば、前記の諸半導体記憶装置において、情報読み出し時に、書き込み素子T1のゲート電極電位を変えずに、T2のソース、ドレイン電位を変化させることで、該ゲート電極と該ソース、ドレイン電極間の電位差変化を与えることで読み出し操作を行う半導体記憶装置である。

【0053】前述したように、ゲート電位が固定される必要があることから、本願発明の半導体記憶装置においては、ゲート電位を固定し、ソースあるいはドレインの電位を変化させるのが好ましい。

【0054】本願の第16の形態は、例えば、前述の諸半導体記憶装置において、情報読み出し時に、読み出し素子T2のゲート電極電位を変えずに、ソース、ドレイン電位を変化させることで、該ゲート電極と該ソース、ドレイン電極間の電位差変化を与えることで読み出し操作を行う半導体記憶装置である。

【0055】本願の第17の形態は、例えば、前記第11ないしは第12の半導体記憶装置を複数用いてアレイ状に配置し、基板上に形成された読み出し素子T2のソース、ドレイン電極に接続された配線層が直交するよう

に平面配置されている半導体記憶装置である。

【0056】本願の第18の形態は、本願に係わる半導体装置、ないしは半導体記憶装置、例えば前記第1、第2、あるいは第10、第11の半導体装置、ないしは半導体記憶装置が、SOI (Silicon On Insulator) 基板上に形成されている集積化半導体装置である。基板に絶縁基板を用いることから、本願発明のリーク電流の抑制された半導体装置、ないしは半導体記憶装置の要請がより有効に機能する。

【0057】本願の第19の形態は、上記集積半導体記憶装置において、書き込み素子のゲート電極配線と基板電位間に電力を消費することなく電位を安定化させる装置を有する集積半導体装置である。

【0058】本願の第20の形態は、電界効果トランジスタによる書き込み装置と、該書き込み装置と異なる導電型をもった電界効果トランジスタによる読み出し装置を持つ半導体記憶装置である。

【0059】本願の第21の形態は、例えば前記20の半導体記憶装置において、情報読み出し時に、書き込み素子のゲート電極に、電荷保持時に比べ書き込み素子のチャネルをよりオフ状態とする電位を加える半導体記憶装置である。

【0060】本願の第22の形態は、例えば前記20の半導体記憶装置において、書き込まれる電位情報が少なくとも3つ以上の値を持つ集積半導体装置である。

【0061】本願の第23の形態は、例えば前記21の半導体記憶装置において、保持された電荷情報を連続した電位として読み出す集積半導体装置である。本願の第24の形態は、例えば前記12、あるいは前記20の半導体装置において、保持電荷とゲート電極電位により演算処理を行なわせる機能を付加した半導体装置である。

【0062】本願の製造方法に係わる発明の主な形態
本願の製造方法に係わる第1の形態は、半導体基板上に第1の絶縁膜を形成する工程と、この絶縁膜上に金属層もしくは高濃度に不純物をドーピングすることで金属化された半導体材料層を形成する工程と、この金属層もしくは金属化された半導体材料層の上部に第2の絶縁膜を形成する工程と、この第2の絶縁膜上に半導体材料層を形成する工程と、この半導体材料層の側面に第3の絶縁膜を形成する工程と、この第3の絶縁膜の側面に金属層もしくは高濃度に不純物をドーピングすることで金属化された半導体材料層を形成する工程を有する半導体装置の製造方法である。

【0063】本願の製造方法に係わる第2の形態は、半導体基板上に第1の絶縁膜を形成する工程と、この第1の絶縁膜上に金属層もしくは高濃度に不純物をドーピングすることで金属化された半導体材料層を形成する工程と、前記金属層もしくは金属化された半導体材料層の上部に第2の絶縁膜を形成する工程と、半導体材料をア

モルファス状態で形成する工程と、このアモルファス状態の半導体材料層に所定の金属層を形成する工程と、加熱によって当該金属によって前記アモルファス状態の半導体材料層を結晶化する工程を有する半導体装置の製造方法である。

【0064】この第2の半導体装置の製造方法は、わけでも前記の縦型のトランジスタを製造するに当って有効である。即ち、本願発明の半導体装置では、半導体層を金属あるいは絶縁物層の上部に半導体層を積層する工程を有するので、当該半導体層を形成後の加熱によって、良好に結晶化する本方法が有効なのである。

【0065】前記第2の半導体装置の製造方法に用いる金属の代表例はニッケル (Ni) である。この金属層の厚さは、結晶化を要するアモルファス状態の半導体材料層の厚さにも依存する。その厚さの例をあげれば、概ね2nmより15nm、あるいは5nmより12nm程度を多用する。加熱は摂氏500度より700度程度の範囲から選択される。実際の製造に際して、やや低温の領域、500度より560度程度が好ましい。加熱の雰囲気は真空で十分である。加熱時間も結晶化を促す半導体層の厚さに依存するが、概ね20時間程度である。

【0066】尚、アモルファス状態の半導体材料層に金属層、例えばニッケル層を形成し、加熱によって、ニッケルをこの半導体層に移動させ、この移動過程で、当該アモルファス状態の半導体材料層が結晶化する。この現象自体はMILC (Metal Induced Lateral Crystallization) として知られている。

【0067】以下、図面を用いて本願発明の実施例について詳細に説明する。

【0068】図11は、本発明による代表的な素子の断面構造を表わしたものの、また図12はその平面レイアウトを示したものである。本素子の配線構造およびその製造方法は、通常のLSIと同様のため、図11では、素子基本部分の形成終了時の構造で示し、いわゆる素子間等で行われる配線層については省略している。図11において、250、350はソース、ドレインであり、チャネル150に対して絶縁膜980を介して、ゲート500が電界効果を両側から及ぼしている。ドレイン350とチャネル150間に挟まれた絶縁膜931を通過 (トンネル) するキャリアが、ゲート500により制御されている。600はドレイン350から引き出す埋め込み配線層である。

【0069】この構造では、図2で示したチャネル以外の不要な接合は存在せず、また、チャネルと電極との接合に絶縁膜931を挟むことになり、リーク電流を抑制することができる。

【0070】以下、図5から図11を用いてその製造工程を説明する。

【0071】シリコン基板100表面に厚さ500nm

の熱酸化膜900を形成する。次いで、この上部にホトレジスト層を形成し、このホトレジスト層を所望形状にパターニングする。そして、こうして準備したシリコン基板を通例の異方性のドライエッチングにより熱酸化膜900中に、例えば300nmの深さの溝102、103を形成する。(図5)

上記基板表面にタングステンを堆積し、CMP (Chemical Mechanical Polishing) 法により、溝102、103以外に堆積したタングステンを取り除く。この工程はダマシン法として知られている。これにより、溝102、103中にタングステン600を詰め込んだ構造が得られる。(図6)

上記基板上にチタン100nm (350)、チタンオキサイド5nm (931)を堆積し、さらに、多結晶シリコン200nm (150)を堆積する。この多結晶シリコン層150はチャンネルとなる層である。ここを単結晶化することでリーク電流を生じるものとなる粒界の準位を低減することができる。本素子構造は、図5を用いて説明した溝を形成する以外、パターニングを行う工程を有さない。また、溝を用いて形成した下部配線層は、図11に示したように、チャンネル部150等の下に配置している。そのため、最初に積層構造をはり合わせることで形成し、上部から積層をパターニング加工することで形成することができる。そのため、単結晶を用いたチャンネルを実現することができる。(図7)

また、前記のチタンオキサイド堆積後、ニッケル薄膜を堆積する。こののち、アモルファス状のシリコンを堆積し、550℃の低温熱処理を加えることで、ニッケルをシリコン中移動させ、多結晶シリコン層150を結晶化することができる。これにより良好な結晶性を持つチャンネル領域を得ることができる。尚、このニッケル薄膜は、2nmより10nmの厚さの範囲、より好ましくは3nmより6nmの範囲で選択される。又、前記の結晶化処理を終えて後、このニッケル層を除去することも出来る。

【0072】ホトレジストを用いてパターニングを行い、多結晶シリコン、チタンオキサイド、チタンを加工し、溝以外では酸化膜900表面を露出させる。こうして準備した半導体基体上に、酸化膜920を堆積する。次いで、この表面をCMP法により酸化膜920をエッチングし、この酸化膜920の表面を多結晶シリコン層150表面に合わせて平坦化を行う。次いで、この上部に不純物を高濃度にドーピングした多結晶層250、さらにシリコン窒化膜950を堆積する。このとき、不純物を高濃度にドーピングした多結晶層250の堆積前に多結晶シリコン層150表面を窒化することで、極めて薄い絶縁膜を形成することができる。この薄い絶縁膜によって、多結晶シリコン層150中への、外部からの不純物の拡散を抑えることができる。この絶縁膜は、チャンネルの電流駆動力に対しては負荷となるた

め、必要な熱処理に比べチャンネル長を確保できる場合には、多結晶シリコン層150上に直接堆積することができる。尚、ここで、前記チャンネル長は多結晶シリコン150の厚さに相当する。

【0073】電極層250として、Pt、Er等のシリサイドや金属窒化膜、例えばTiNやWN等を耐熱バリア層として堆積したのち、さらに金属材料(例えば、タングステン等)の層を積層して形成することができる。該窒化膜および金属層を920表面までエッチングする。断面構造では現れていないが、このとき、図12に符号250で示したようにコンタクト(720)形成の引き出しを形成する。(図8)

こうして準備した基体の上部にシリコン酸化膜921を堆積し、CMP法により表面を平坦化する。ここでは、以下層間膜となる堆積積層された酸化膜層は符号921で示す。(図9)

更に、この基体の上部に、通例のフォトリソを用いたゲートパターンを形成する。そして、このゲートパターンを用いたエッチング方法によって、層間絶縁膜921に溝104を形成する。電極層250およびチャンネルとなる多結晶シリコン150の側面を露出させる。(図10)

前記溝104内の積層体の表面に、CVD法により5nmのシリコン酸化膜980を堆積した後、ゲート500を溝内に形成する。ゲート絶縁膜としては、例えばシリコン窒化膜やチタンオキサイドをも用いることができる。尚、図11ではシリコン酸化膜980は溝104の内面の全面に形成されている。このシリコン酸化膜は、この溝104の全面に必ずしも必要はない。例えば、層間絶縁膜921の側壁等は必ずしも必要はない。しかし、この例では酸化膜はCVD法によって形成されている為、溝104の全面に形成されている。このことは、以下の実施の諸形態においても同様である。(図11) 以下、通常のLSIの製造プロセスと同様に配線を形成する。

【0074】図12は当該半導体装置の主要部よりの引き出し用のコンタクト領域の平面レイアウトを示す図である。符号500の領域がゲートに対応する平面的な領域を示している。図は、埋め込み引き出し層600へのコンタクト710、ゲート500へのコンタクト730、電極250へのコンタクト720の配置例を示している。図11に見られるように、この構造では、電極350はチャンネル150との間にバリア931が挟まれているため、リーク電流を強く抑制することができる。

【0075】また、電極250に高濃度にドーピングした多結晶シリコンを用いた場合、該電極がチャンネルのキャリアの供給源となるため、不純物による導電型により、N型およびP型のデバイスを形成することができる。

【0076】上記の実施例では、引き出し形成のため、

上部電極250をチャンネルパターンニング後形成しているが、チャンネル150と同時に形成することができる。この例を、図13から図17を用いて説明する。

【0077】本例においては、上記実施例の図5より図7までと同様に製造される。即ち、所定の基体に、配線600、及びチタン層350、チタンオキサイド層931、多結晶シリコン層150が形成される。こうして準備された基体の上部に、更に、チタンオキサイド層932、チタン層250、絶縁膜950を堆積する。(図13)

この基体の上部に、通例のフォトリソストを用いたゲートパターンを形成する。そして、このゲートパターンを用いたエッチング方法によって、酸化膜900表面が露出するまで、該積層膜をエッチングする。(図14)

次いで、基体位上に、酸化膜920を堆積した後、CMP法により平坦化し、更に、絶縁膜950表面が露出するまでエッチバックする。(図15)

更に、この基体の上部に、通例のフォトリソストを用いたゲートパターンを形成する。そして、このゲートパターンを用いたエッチング方法によって、層920に溝105を形成する。こうして形成した溝105内の積層体の側壁にゲート絶縁膜980形成する。更に、溝105中にゲート層500を堆積する。そして、ゲート層500をエッチバックすることで、電極層250側面までゲート層500が埋め込む構造とする。(図16) ゲート層500上の溝を絶縁膜921で埋めた後、表面を平坦化し、絶縁膜950を露出させる。そして、絶縁膜950を除去した後、金属材の層650を形成することにより電極層250に対する配線を形成する。この工程は通常のコンタクトホール形成および金属配線形成プロセスと同様である。こうして、ゲート層500および埋め込み層600へのコンタクト形成および配線形成を同時に行うことができる。(図17)

本素子を集積回路に用いた場合の有効性を示すため、代表的演算ゲートであるOR回路とAND回路(あるいはNAND回路)を形成する例を示す。

【0078】図18は4入力のOR回路を示す等価回路図である。図19はこれに対応した電極部の平面レイアウトを示す図である。尚、図19においては、全体の配置を示すため、ゲート層500、引き出し部600、および電極250引き出しと、それぞれのコンタクトのみを記した。

【0079】図18に示す回路自体は通例のものであるが、本願発明は、この回路を構成する絶縁ゲート型電界効果型トランジスタのチャンネル領域の構造およびその各部の取りだし構造に特徴を有する。図において理解を容易にする為、本願発明に係わる絶縁ゲート型電界効果型トランジスタのチャンネル領域は波線で示した。

【0080】図20は3入力のAND回路の等価回路図である。図21はこれに対応した電極部の平面レイアウト

トを示す図である。引き出し部600と電極250を、交互につないで行くことで、回路上の素子の縦積みが可能である。従って、本例は極めて小型化に有利である。図21では、この様子を解りやすくするため、上部引き出し層である電極層250をハッチングで示した。

【0081】前述したように、本発明の構造を用いて、不純物の選択によりCMOSのような相補型の素子を形成することができる。即ち、本願発明の構造では、電極250形成時に、イオン打ち込み法により、ドーピングする不純物の導電型を変えることができるためである。

【0082】図22はインバータの例の電極部の平面レイアウトを示す図である。この例は、本願発明の半導体装置の構造を用い、且つそのチャンネル領域がN型およびP型の各素子を用いてインバータを形成したものである。2つの電極250のうち、上側には、砒素を、下側にはボロンをドーピングしている。ゲートコンタクト730が入力端子、引き出し600へのコンタクト720が出力端子である。配線650により電極層250へ、それぞれ、グランド電位、電源電位が給電されている。

【0083】図23は、インバータを2段接続した様子を示す電極部の平面レイアウトを示す図である。即ち、図23の構造は図22の構造を2段接続した構造である。入力730と出力720を重ねることで、2つのインバータの接続がなされている。

【0084】プロセスにおいては、ゲート500堆積前にコンタクト720を形成することで、直接次段と連結することができる。

【0085】本願発明の素子構造では、縦形構造を用いているため、上部電極250からの引き出し配線の形成が一つの課題である。上記実施例以外の引き出し形成方法について、図24から図29を用いて説明する。図24から図29は、本例を説明するため、製造工程順に示した素子の断面図である。

【0086】本願発明の製造方法を説明した工程によって前記図13と同様の積層体を得る。即ち、半導体基板100の上部に、絶縁層900が設けられ、この絶縁膜に埋め込み配線600等を形成される。そして、こうして準備した基体の上部に、金属電極350を構成するチタン層、トンネル絶縁膜931となるチタンオキサイド層、チャンネル領域150となる多結晶シリコン層、更に、第2の導電領域250を構成するチタン層、上部の絶縁物層920としてのシリコン酸化物層を積層する。そして、電界効果型トランジスタのキャリアの進行方向、即ち、チャンネル方向に所望形状を得る為、通例の方法によって、パターンニングを行う。図24は、紙面垂直方向にパターンニングされた柱状積層膜(層350、150、250、920)の断面を示したものである。(図24)

こうして準備した基体上に、ゲート絶縁膜を形成後、ゲート電極層500および絶縁膜955を積層する。尚、

前記ゲート絶縁膜は層500と層920の間に存在するが、図25ではその断面の取り方で現れていない。又、絶縁膜955はシリコン窒化膜を用いた。そして、これらの積層体、層500、及び層955を所望形状にパターンニングを行う。図25では、断面の取り方によって柱上のみゲート断面が示されている。例えば、図16に見られるように、層500は溝105内に深く形成されている。同様の構造は本例でも存在すると言うことである。(図25)

次いで、前記層500及び層955の側壁に、スペーサとなる絶縁膜956を堆積後する。絶縁膜955、絶縁膜956の領域をマスク領域として、積層膜920、250、150、350を、所望形状にエッチングする。尚、絶縁膜955及び956の形成は、例えば、通例のCVD法によれば良い。(図26)

こうして、準備した基体上に、酸化膜921を堆積し、更に、CMP法により、積層体の表面を平坦化する。

(図27)

引き出し形成部に対応する領域に開口を有するマスクをかけ、且つ、絶縁膜955、絶縁膜956の領域をマスク領域として溝を形成し、導電体層250側面を露出せしめる。(図28)

この溝の内部にタングステン625を埋め込むことで、引き出し配線を形成する。これにより隣接する素子同士を自己整合的に接続してゆくことができる。即ち、図29における、各導電層250の領域が溝部251によって隔てられているが、タングステン層625によって相互に電氣的に接続される。そして、このタングステン層625は、これまでに形成された溝251によってその寸法を規定されている。即ち、本例では、溝形成の為に用いるマスクの形成によって、その後の寸法規定がなされている。(図29)

本願発明の半導体装置は、電極のリークを極めて低く抑えられることに特徴がある。この特徴を活かす上で、一般に、電荷によって情報の記憶を行うメモリ素子への応用が好適である。なかでもゲインセルと呼ばれるタイプに用いることで、優れた半導体記憶装置を供することができる。

【0087】図30は主要部のみを模式的に示したゲインセルでの本願発明に係る半導体装置の適応例の断面図である。メモリセルは、半導体基板100に形成された素子による読み出し部と、本発明素子を用いた記憶情報書き込み部よりなる。

【0088】半導体基板100に通例の不純物領域220、および320が形成され、電界効果型トランジスタのチャネル領域を構成する。このチャネル領域を覆ってゲート絶縁膜970が形成される。こうして構成されたトランジスタ部が前記の読み出し部となる。そして、この上部に次のような記憶情報書き込み部が形成される。尚、前記記憶情報書き込み部となる半導体装置は、これ

まで述べてきた本願発明に係る素子であるので、ここではその詳細の説明は省略する。図30において、符号931はトンネル絶縁膜、150はチャネルとなる半導体層、250は第2の導電体層、980はゲート絶縁膜、500はゲート電極層である。

【0089】電極となる導電領域350は、前記ゲート絶縁膜970の上部に直接形成され、書き込み素子のドレインであるとともに、読み出し素子のゲート電極となっている。本メモリセルにおいては、電極350のもつ電荷により情報として記憶され、その読み出し素子に与える電界効果によって、チャネル特性を変化させ、電極220、320間を流れる電流として、情報が読み出される。記憶保持部である導電領域350のリークが少ないことが、良好な情報保持性能を可能にしている。ここで導電領域350は記憶保持部であるため、抵抗値はあまり重要ではない。そのため、高濃度に不純物をドーピングすることで金属化した多結晶シリコンを用いてこの導電領域、電極層を形成してもよい。

【0090】代表的メモリ素子の基本回路構成の例を図31及び図32に示した。次に、これらのメモリセルの動作について説明する。

【0091】図31は、図30に示した半導体素子を等価的に示したメモリセルの回路図である。回路の理解を容易にする為に、図31の2つのトランジスタT1、T2に対して、図30の構造図に示した各部の符号を付した。素子T1読み出し部を構成するトランジスタ、素子T2は本願発明に係る半導体装置を用いた記憶情報書き込み部である。

【0092】D1は読み出しワード線、D2は書き込みワード線、D3は書き込みデータ線、D4は読み出しデータ線である。D2をオンさせることで、記憶保持部(ゲート電極)にD3電位を書き込み、オフすることで、電荷を保持させる。このとき、読み出し素子のゲート電位が決められる。例えば、ゲート電位がトランジスタの閾値を超えている場合、D1、D4間に電位差を与えると、電流が流れる。一方、ゲート電位が閾値より低い場合、D1、D4間に電位差を与えても電流は流れない。そのため、この電流によって、ゲート電位を読み出すことができる。

【0093】図59は上記の例での各信号の例のタイムチャートである。D1、D2、D3、およびD4は各々読み出しワード線、書き込みワード線、書き込みデータ線、読み出しデータ線への電圧の印加を示している。ここでは、図31に示した配線記号を用いている。図59は、同一導電型素子を書き込み、読み出し素子に用いたメモリセルによる書き込み(tw)、読み出し(tr)を繰り返す例を示している。ここでは、読み出し時に、D4の電位変化を読み取り、センスアンプにより駆動させる例を示している。D4はtrステップの前に一度中間電位を与え、そこからの変化で読み出す例を示してい

る。

【0094】この構造では、書き込み部と読み出し部が、動作上分離されているため、集積化しても、読み出し動作が他のセルの情報を破壊する問題は生じてこない。図31に示した等価回路図では、D1とD2、D3とD4とが各組毎に幾何学的に平行になるように配置されている。しかし、実際の半導体装置の構造では、少なくともD1とD4、D2とD3が幾何学的に直交するように配置されていけばよい。D1とD2、D3とD4とは、必ずしも幾何学的に平行に配置する必要はない。それは、読み出しと書き込みが分離されているためである。

【0095】図32は、書き込みと読み出しのワード線をD4に兼用させたものである。動作を説明するために、容量素子910を積極的に加えている。しかし、実際の構造においては、電極350とゲート500にはオーバーラップが存在するため、特別なプロセスを追加することなく形成することができる。いわゆる寄生容量を設定し、これをもってこの容量となすことが可能である。

【0096】D1、D3は読み出しデータ線、D2は書き込みデータ線、D4はワード線である。書き込み素子と、読み出し素子を反対導電型によって形成すると、相補的に動作させることができる。例えば、書き込み素子をP型、読み出し素子をN型としたとき、書き込み素子はワード線D4に負電位を加えることでオン状態となり、電位が書き込まれる。一方、読み出し素子においては、正電位を加えることで、チャネルはオン状態となる。すなわち、D4に正電位を加えることで、容量カップリングにより読み出し素子のゲートに正電位を与えることができる。このとき、書き込み素子においては、よりオフ状態が強まるため、電荷リークを抑えることができる。従来のゲインセルでは、相補的動作ができなかったため、書き込み（消去）時に、最も高いゲート電圧を与え、その情報を破壊しないように、それより、低い電圧で読み出す必要があった。そのため、情報として使える電位範囲が狭く、多値情報を持たせることが困難であった。相補的動作においては、読み出し時のワード線電位には、こうした制約がないため、多値の情報（多段階の電位状態）を用いることができる。

【0097】図60は、相補型メモリセルの基本動作のタイムチャートを示している。ここで、D2が書き込み（tw）時と読み出し（tr）時に反対方向にバイアスされるのが特徴である。図60において、4値の電位を記憶ノードに順次書き込み、それぞれ読み出し動作を繰り返す例を示している。ここで、D4は電流センスを与え、一定電位で動作させる例を示している。尚、D1、D3は読み出しデータ線、D2は書き込みデータ線、D4はワード線に対する電圧を示している。D3の電圧状態に見られるように、例えば実質的に4値の情報

を用いることが可能となる。

【0098】また、読み出し時のゲート電位にデータ破壊による制約がないことから、自由に印加電位を与えることができるため、デジタル化したものではなく、保持電荷状態を連続した状態として読み出すこともできる。また、ゲート印加電圧と保持電荷状態により読み出し結果が与えられることから、これを用いて演算処理を行うことができる。

【0099】図33は図31のメモリセルのアレイ状に配置した例を示したものである。C0は書き込みワード線のドライバ部、C1は書き込みデータ線のドライバ部、C2は読み出しワード線のドライバ部、C3は読み出しデータ線のセンス部である。図33で各メモリセル部は前述したところであるので、ここでは詳細は省略する。本例は通例のメモリ装置の駆動方法を取ることが出来る。

【0100】本願発明の半導体装置の構造におけるリーク電流の抑制は、電極とチャネル部に挟まれた絶縁膜のトンネル現象をゲート電極により有効に制御することで成り立っている。すなわち、書き込み素子ゲートと記憶保持部であるドレイン電極の電位関係を保持することが、リーク電流低減において重要である。そこで、本メモリ素子応用において、書き込みワード線がある電位状態で安定化することができる装置Rをおくことが有効である。この手段については、前述した通り、例えば装置Rとして抵抗を接続することで十分である。この手段Rによって、書き込みワード線の電位を通常、接地電位となるようにすることができる。

【0101】すなわち、この記憶装置が電源から切り離されても、ワード線は接地電位に固定されリーク電流は抑制できるため、長時間、情報を保持し続けることができる。装置Rとして抵抗を用いた場合、動作状態、すなわちワード線が選択された状態では、消費電力を増大させることになるが、選択されるワード線は最大でもアレイ中一本であり、適当な大きさの抵抗を選ぶことでそれほど消費電力を増大させることなく良好な情報保持特性を得ることができる。

【0102】図32に示したメモリセルを用いても、図33と同様にメモリセルアレイを形成することができる。他方、図34に示すように多段のメモリセルを積み重ねる、いわゆるNAND型のアレイを組むことが有効である。相補的に働かせることができるため、同一の読み出しデータ線であるB0、B1、B2に連なるセルを、A0からA7に順次電圧を加えることでオンさせることができるためである。そのため、データ線が、拡散層とチャネルによって形成されるため、配線およびコンタクトの形成を減らすことができる。そのためメモリセルの微細化が容易になり、高集積化することが可能になる。

【0103】図35から図40を用いて、代表的メモリ

セルの形成プロセスを説明する。これらの図は、半導体記憶装置の断面構造を示している。また、図には、中央のギャップを挟んで左右でそれぞれ別の断面での様子を示している。図の左側の断面図ではゲート電極500が紙面に垂直に延在するような断面、右側の断面図では紙面の面内にゲート電極500を含む断面である。

【0104】シリコン基板100上に通常のMOSLSIの形成に用いられる浅溝素子分離法により、素子分離絶縁膜900を形成する。次に、露出したシリコン表面を熱酸化することで、読み出し素子用ゲート絶縁膜905を形成する。その上に、記憶ノードとなる金属電極350およびトンネル膜931、チャネル150を積層する。(図35)

チャネル領域となる半導体層150および電極350を、通例のホトレジスト法により所望形状にパターンニングする。こうして溝105が形成される。次いで、前記の加工によって開口された領域にイオン打ち込みを行い拡散層220を形成する。(図36)

こうして準備した基板上に酸化膜921を堆積し、その表面をCMP法により平坦化し、多結晶シリコン150が露出するまでエッチバックする。(図37)

不純物拡散抑制のために薄い窒化膜を形成したのち、高濃度不純物をドーピングした多結晶シリコン250を堆積する。そして、この多結晶シリコン250を所望形状に加工し、書き込み素子データ線250とする。尚、ここで、前記不純物拡散抑制のために薄い窒化膜は図示が省略されている。(図38)

書き込み素子用ゲート形成部の酸化膜をエッチングし溝107を形成する。こうして、露出したチャネル領域150の少なくとも側面等にゲート絶縁膜980を堆積する。拡散層上に形成した絶縁膜は、耐圧劣化が大きいことが知られている。そのため、ここでは、スペーサとなる絶縁層935において耐圧向上を図っている。スペーサおよび拡散層を除き、基板上にゲート絶縁膜を形成することで、拡散層の代わりにゲートの電界効果による反転層によりソース、ドレインを形成してもよい。(図39)

ゲート層500を形成し、次いで、この層500を書き込み素子ワード線としてパターンニングする。図40の右側の断面図では所望形状とされたゲート500が、左側の断面図では溝部107に存在するゲート電極がしめされている。本メモリセルは、シリコン基板上に形成されているので、従来のMOSFETと整合性よく集積することができる。(図40)

次に、上記とは異なる別なメモリセル形成法を、図41から図46を用いて説明する。これらの図においては、前記と同じく、2つの断面構造を合わせてしめしている。

【0105】素子分離領域900を形成したシリコン基板100上に、読み出し素子のゲート絶縁膜905、記

憶ノードとなる電極250、トンネル膜931、チャネル150、上部電極250、電極保護膜950を積層する。(図41)

読み出しデータ方向に溝状201に積層膜を加工し、イオン打ち込み法により、電極220を形成する。(図42)

データ線と直交するワード線方向にワード線パターンにより積層膜を加工する。(図43)

ゲート絶縁膜980形成後、ゲート500を堆積しエッチングすることで、柱状積層膜周囲にスペーサ状のゲートを形成する。この時、図中右に示したようにワード線方向の柱間隔を、データ線方向(図中左)に比べ狭くし、かつ、500の堆積厚さをワード線方向間隔の1/2以上、データ線方向間隔の1/2以下とすることで、ワード線方向のみ、自己整合的にゲート電極を接続することができる。(図44)

こうして準備した基体の上部に、層間膜921を堆積、そして、これを平坦化し電極保護膜950を露出させる。(図45)

電極保護膜950を除去し、金属配線625を堆積する。そして、この金属配線625を所望形状に加工することで、書き込み素子データ線を形成することができる。(図46)

尚、本メモリセルにおいて、ゲート500形成前(図41の段階後)一旦酸化膜で平坦化しエッチバックすることで、シールド層935を形成することができる。(図47)これにより、書き込み素子と読み出し素子の相互干渉を減らし、また読み出し素子の耐圧を向上することができる。

【0106】更に、その他のメモリセル形成方法を、図48から図58を用いて説明する。図48は図31に示したメモリセルをアレー状に配置した半導体記憶装置のレイアウトである。ここでは、12セルを用いて示している。図48でのD1、D2、D3、及びD4は各々図31におけるそれに対応する。即ち、D1は読み出しワード線、D2は書き込みワード線、D3は書き込みデータ線、D4は読み出しデータ線を表している。図は各データ線及び各ワード線、コンタクトホール、基体での不純物拡散領域が模式的に示されている。細い線で表された読み出しワード線D1及び読み出しデータ線D4は、半導体積層体での下層に、太い線で表された書き込みワード線D2は上層に配置されている。ハッチングを施された領域は不純物拡散領域である。又、細い線で示されたコンタクトホール1003は下層に配置されたD3とD4、あるいはD3とD1とを接続する為の開口部である。一方、太い線で表されたコンタクトホール1002はD3と上層に配置された書き込みワード線D2とを接続する為の開口部である。より具体的には以下の図49から図58の断面図によって明らかにされる。

【0107】また、図49から図58は図48のA-

A、B-B断面を、それぞれ左、右に分けて同時に示したものである。

【0108】図49より図58までは、SOI (Silicon On Insulator) 基板を用いてメモリセルを形成する方法を示す。勿論、前記メモリセルにおいても、読み出し素子をSOI基板に形成できることは明白である。

【0109】先ず、支持基板1200に搭載された埋め込み酸化膜900上にシリコン層(SOI)100、および、保護層910としての酸化膜を持ったウエハを準備する。支持基板1200は通例シリコンである。支持基板は構造、動作の基本に直接関係ないので、以下の図面ではこの支持基板は図示を省略する。(図49)

前記のウエハに、通例の浅溝分離法により素子分離領域960および保護膜910を再び形成する。また熱処理を加えることで、必要な拡散層220を形成する。(図50)

保護膜910にコンタクト形成部に対応した開口901する。そして、この開口部901を通して高濃度ドーパした多結晶シリコン360を堆積し、読み出しワード線および引き出し層を形成する。そして、この上部に絶縁膜9900および9901を形成し、これらを所望形状にパターニングする。(図51)

こうして準備した半導体基体の引き出し層上部にコンタクトを開口902する。そして、再び、この上部に高濃度ドーパした多結晶シリコン膜660、及び層間絶縁膜9902を堆積する。そして、層間絶縁膜9902を通例の方法で所望形状になし、この層間絶縁膜9902をマスク領域として、前記多結晶シリコン膜660を読み出しデータ線の所望形状に形成する。(図52)

次いで、層間絶縁膜922および層間絶縁膜層923を堆積した後、表面をCMP法により平坦化する。ここで、絶縁膜922は例えばシリコン窒化膜、絶縁膜923は例えばシリコン酸化膜である。(図53)

次いで、書き込み素子形成部の層間膜を除去し開口903を形成する。この開口内にシリコン100の表面が露出する。(図54)

更に、ゲート酸化膜905形成後、メタル電極350、トンネル膜931、多結晶シリコン150を積層する。(図55)

この積層膜、350、931、150を食刻し、絶縁膜923の表面まで柱状に加工する。この上部に層間絶縁膜921を堆積し、エッチバックすることで、多結晶シリコン膜150を露出せしめる。(図56)

前記多結晶シリコン膜150上に、書き込みデータ線250を形成する。更に、この書き込みデータ線250を覆って層間絶縁膜926を形成し、この層により、積層体の表面を平坦化する。(図57)

層間絶縁膜926、921にゲートパターンに応ずる溝904を形成する。少なくとも露出した半導体層150

の側壁にゲート絶縁膜980を形成する。そして、このゲート絶縁膜980を覆って書き込みワード線500を形成する。この構造では、ゲート電極と前記書き込みワード線が同一の層で形成されている。(図58)

上述したこれらの方法により、すぐれた書き込み、記憶保持性能を有する半導体記憶装置を形成することができる。

【0110】電界効果型トランジスタにおいて、ショットキー接合に絶縁膜を挟み、トンネル現象を制御することで、ソース、ドレインとなる電極のリーク電流を極めて低く抑制することができた。また、この低リーク特性を応用することで、優れた情報保持特性をもった半導体記憶装置を形成することができる。

【0111】以上、本願発明によれば、リーク電流の極めて低い電界効果型トランジスタを提供することが出来る。

【0112】本願発明の別な形態によれば、優れた情報保持特性をもった半導体記憶装置を提供することが出来る。

【0113】本願発明の製造方法によれば、新規な装置をリーク電流の極めて低い電界効果型トランジスタ、あるいは半導体記憶装置を簡便に製造することが出来る。

【0114】

【発明の効果】本願発明によれば、リーク電流の極めて低い電界効果型トランジスタを提供することが出来る。

【0115】本願発明の別な形態によれば、優れた情報保持特性をもった半導体記憶装置を提供することが出来る。

【0116】本願発明の製造方法によれば、新規な装置をリーク電流の極めて低い電界効果型トランジスタ、あるいは半導体記憶装置を簡便に製造することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は従来の素子構造を表わした代表的素子断面図である。

【図2】図2はその他の従来の素子構造を模式的に示した断面構造図である。

【図3】図3は従来のショットキー接合を説明するバンド図である。

【図4】図4は本発明で用いる接合を説明するバンド図である。

【図5】図5は素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図6】図6は素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図7】図7は素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図8】図8は素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図9】図9は素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図10】図10は素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図11】図11は素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図12】図12は素子平面配置を説明する平面レイアウト図である。

【図13】図13はその他の形態の素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図14】図14はその他の形態の素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図15】図15はその他の形態の素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図16】図16はその他の形態の素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図17】図17はその他の形態の素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図18】図18はORゲートを説明する等価回路図である。

【図19】図19はORゲートの平面配置を説明する平面レイアウト図である。

【図20】図20はANDゲートを説明する等価回路図である。

【図21】図21はANDゲートの平面配置を説明する平面レイアウト図である。

【図22】図22はインバータゲートの平面配置を説明する平面レイアウト図である。

【図23】図23は多段インバータゲートの平面配置を説明する平面レイアウト図である。

【図24】図24はその他の素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図25】図25はその他の素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図26】図26はその他の素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図27】図27はその他の素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図28】図28はその他の素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図29】図29はその他の素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図30】図30はメモリセル素子構造を模式的に示した断面構造図である。

【図31】図31はメモリセルを説明する等価回路図である。

【図32】図32はその他のメモリセルを説明する等価回路図である。

【図33】図33はメモリセルアレイを説明する等価回路図である。

【図34】図34はメモリセルアレイを説明する等価回路図である。

【図35】図35はメモリセルの素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図36】図36はメモリセルの素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図37】図37はメモリセルの素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図38】図38はメモリセルの素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図39】図39はメモリセルの素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図40】図40はメモリセルの素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図41】図41はその他のメモリセルの素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図42】図42はその他のメモリセルの素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図43】図43はその他のメモリセルの素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図44】図44はその他のメモリセルの素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図45】図45はその他のメモリセルの素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図46】図46はその他のメモリセルの素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図47】図47はその他のメモリセルの素子製造工程を説明する断面構造図である。

【図48】図48はメモリセルアレイの平面配置を説明する平面レイアウト図である。

【図49】図49は多段インバータゲートの平面配置を説明する平面レイアウト図である。

【図50】図50は多段インバータゲートの平面配置を説明する平面レイアウト図である。

【図51】図51は多段インバータゲートの平面配置を説明する平面レイアウト図である。

【図52】図52は多段インバータゲートの平面配置を説明する平面レイアウト図である。

【図53】図53は多段インバータゲートの平面配置を説明する平面レイアウト図である。

【図54】図54は多段インバータゲートの平面配置を説明する平面レイアウト図である。

【図55】図55は多段インバータゲートの平面配置を説明する平面レイアウト図である。

【図56】図56は多段インバータゲートの平面配置を説明する平面レイアウト図である。

【図57】図57は多段インバータゲートの平面配置を説明する平面レイアウト図である。

【図58】図58は多段インバータゲートの平面配置を説明する平面レイアウト図である。

【図59】図59は半導体メモリの基本動作に対するタイムチャートを示す図である。

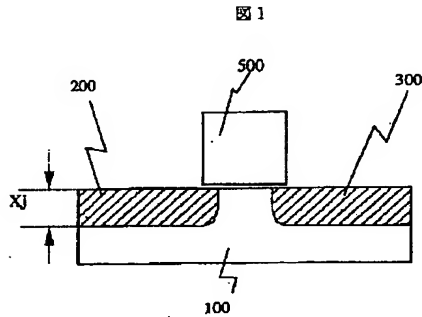
【図60】図60は多値情報を取り扱う半導体記憶装置の基本動作に対するタイムチャートを示す図である。

【符号の説明】

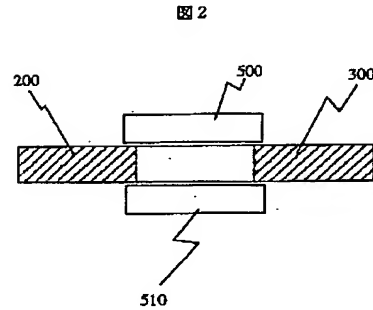
100、110：シリコン基板、150：多結晶シリコン、320：不純物拡散層電極、500、510：ゲー

ト電極、250、350：電極、600、625、660：金属配線、710、720、730：コンタクト、900、901、905、910、920、921、922、923、924、925、926、931、932、955、956、960、980：絶縁膜層。

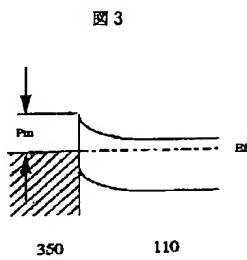
【図1】



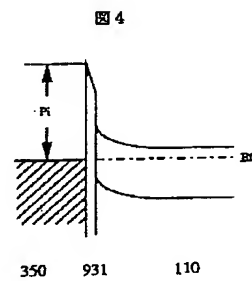
【図2】



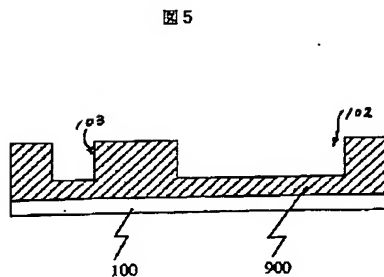
【図3】



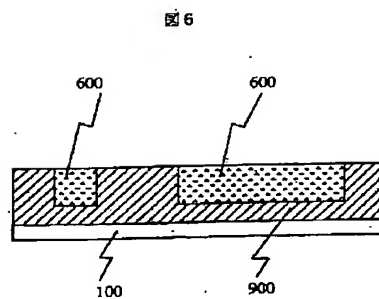
【図4】



【図5】

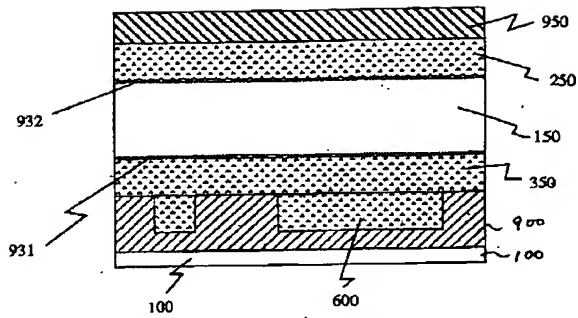


【図6】



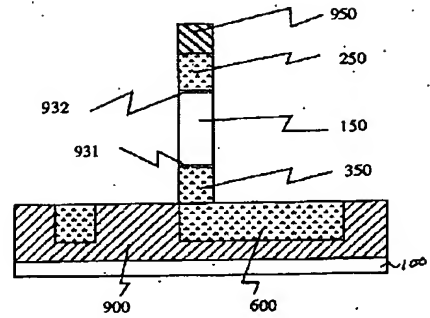
【图13】

图13



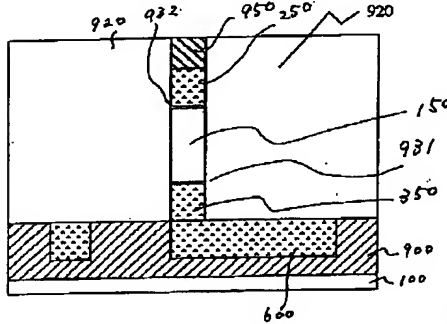
【图14】

图14



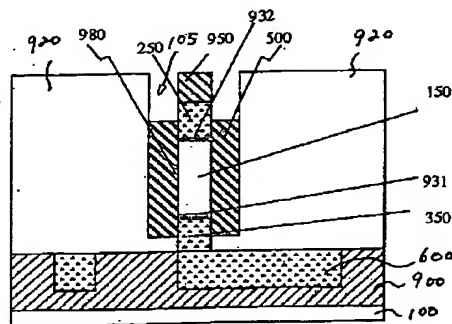
【图15】

图15



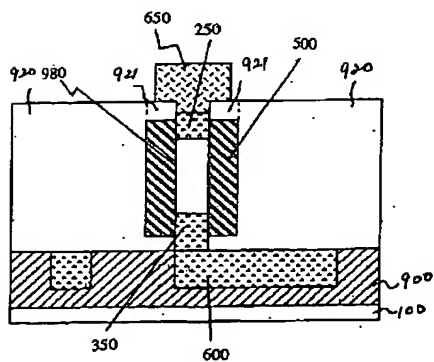
【图16】

图16



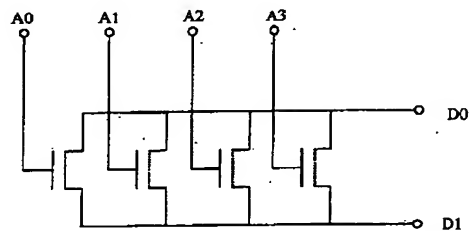
【图17】

图17

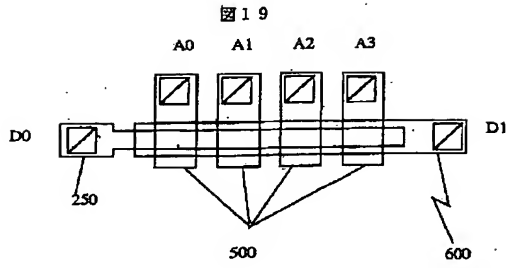


【图18】

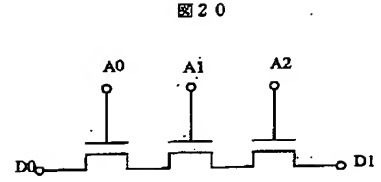
图18



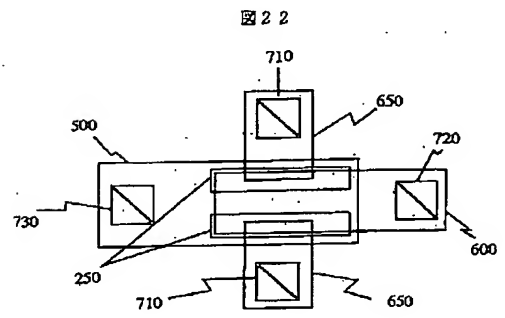
【図19】



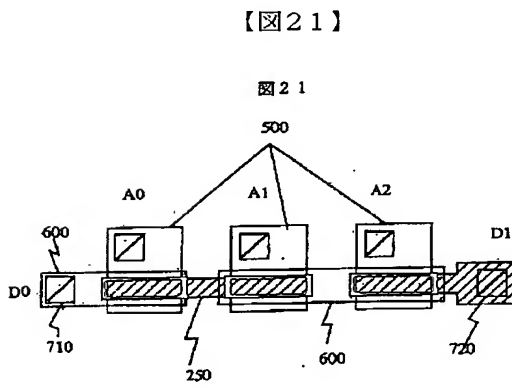
【図20】



【図22】



【図24】



【図23】

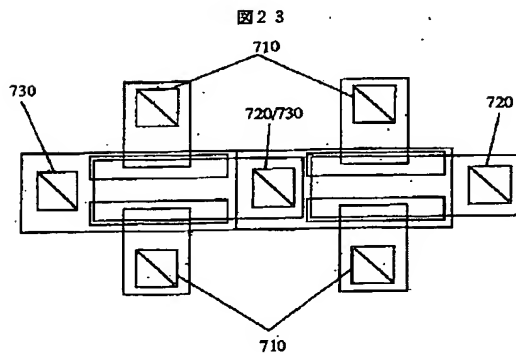
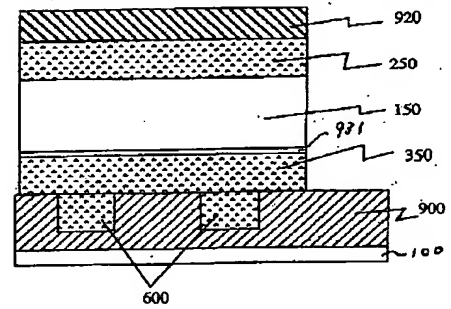
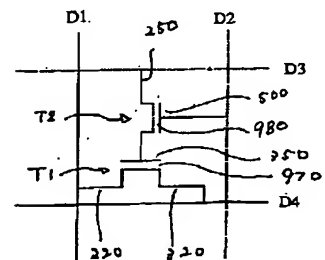


図24

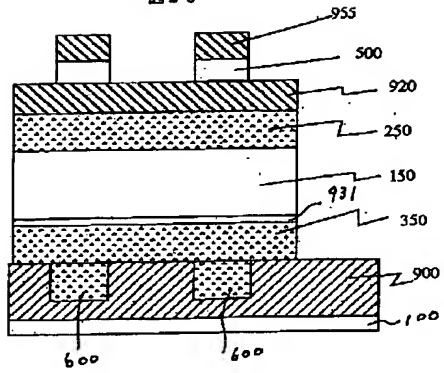


【図31】

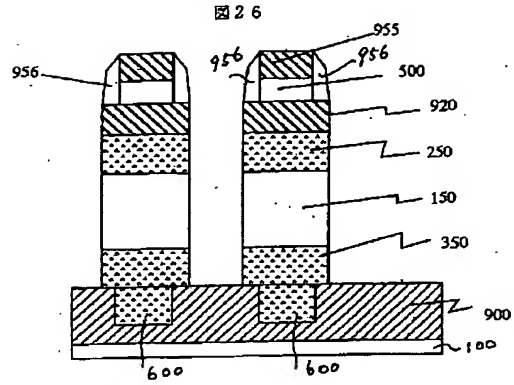
図31



【図25】



【図26】



【図28】

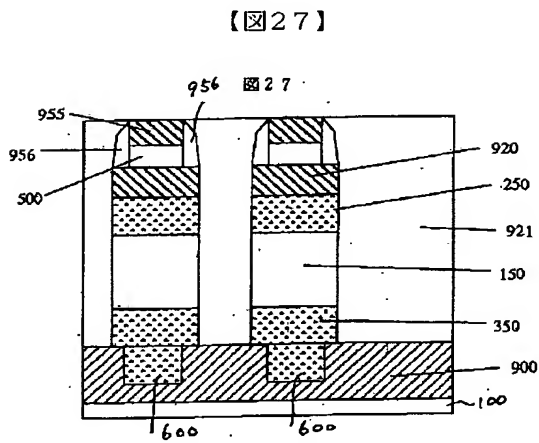
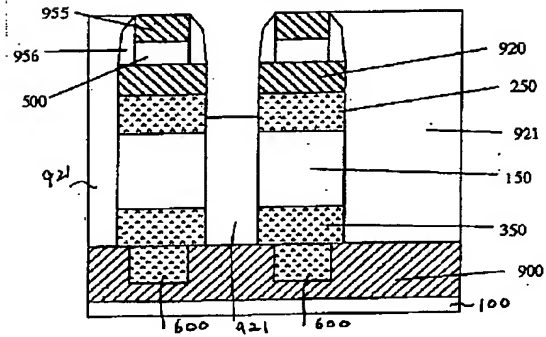
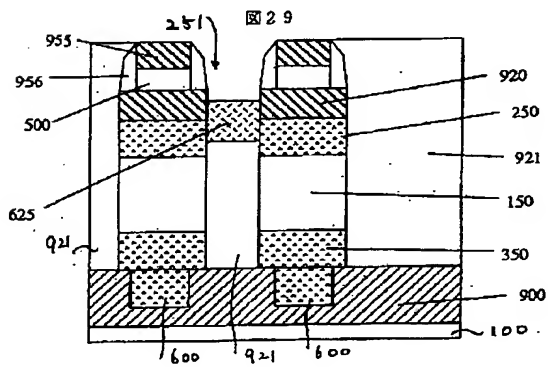


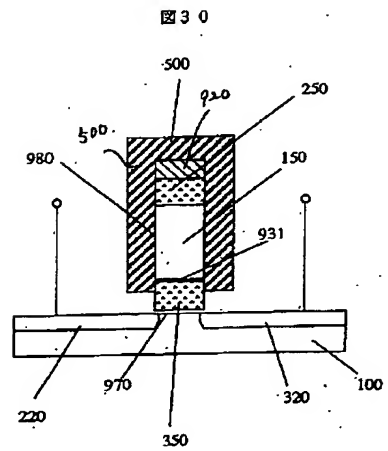
図 28



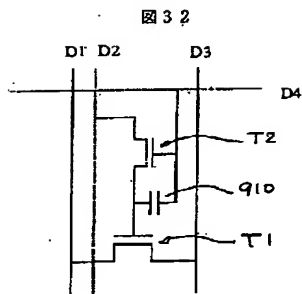
【図29】



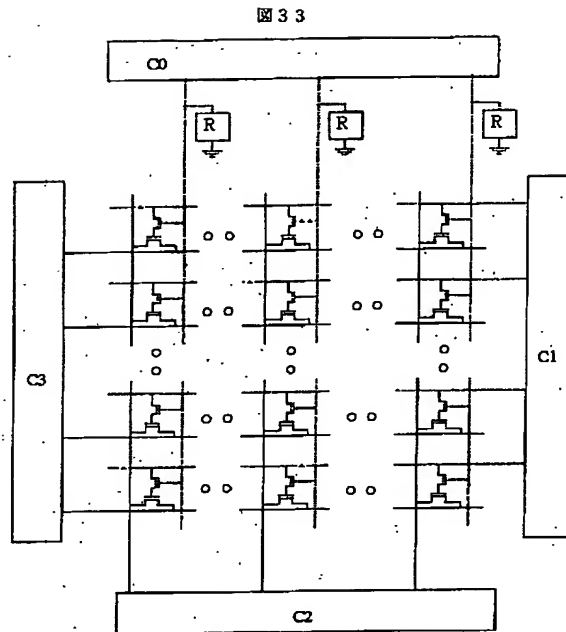
【図30】



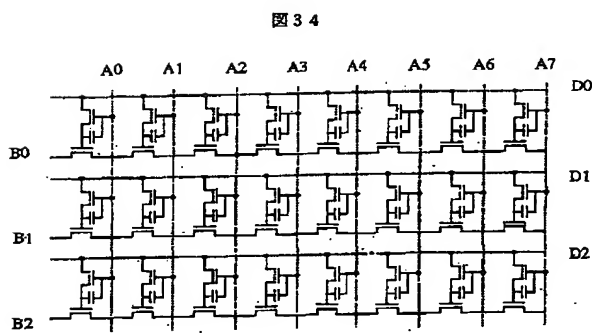
【図32】



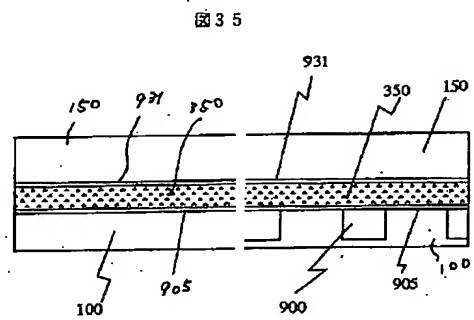
【図33】



【図34】



【図35】



【図49】

【図50】

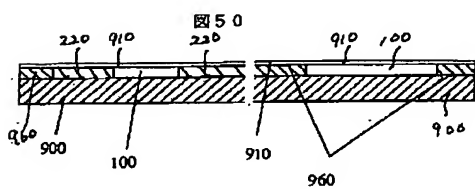
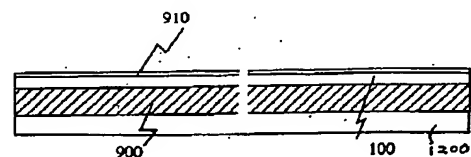
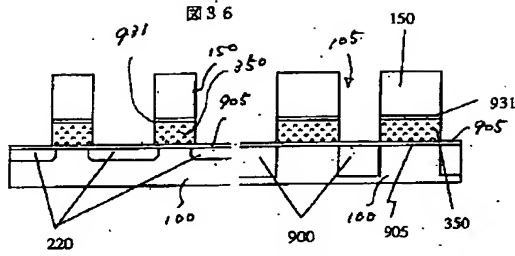


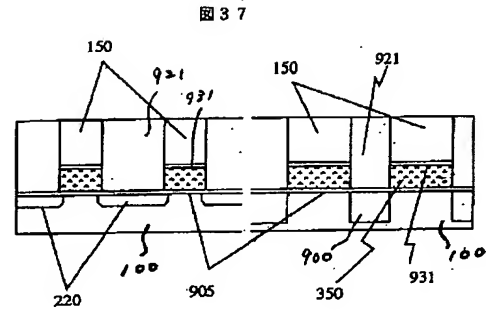
図49



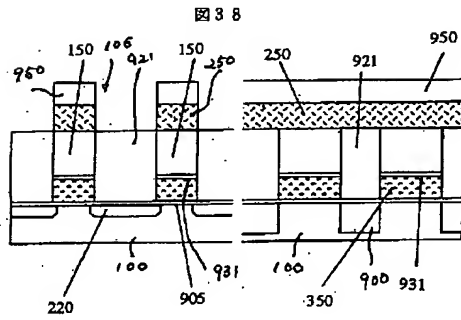
【図36】



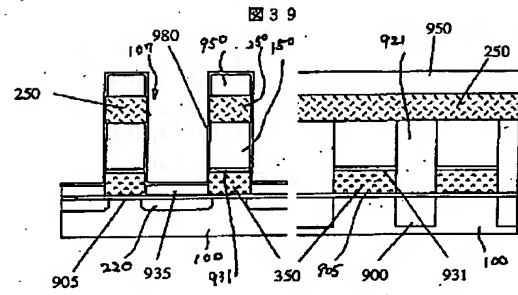
【図37】



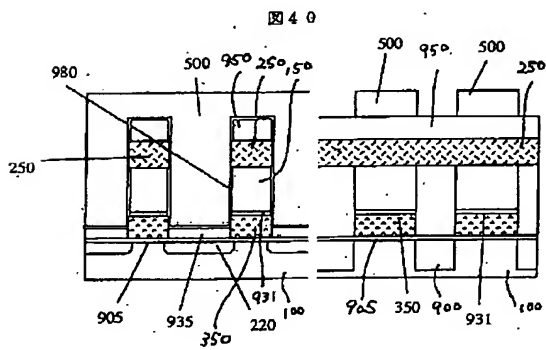
【図38】



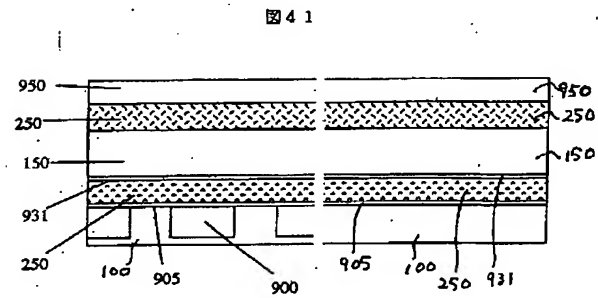
【図39】



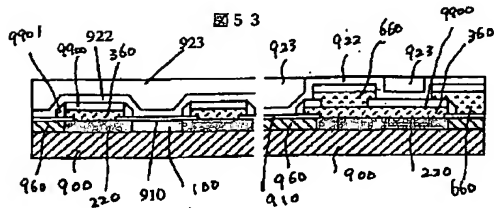
【図40】



【図41】

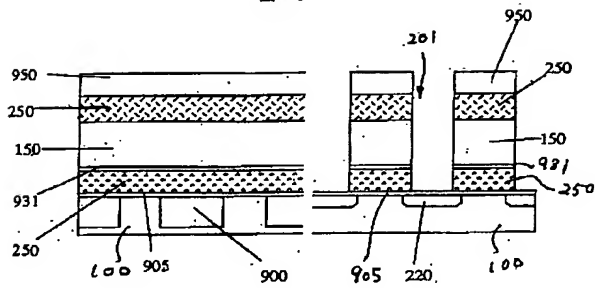


【図53】



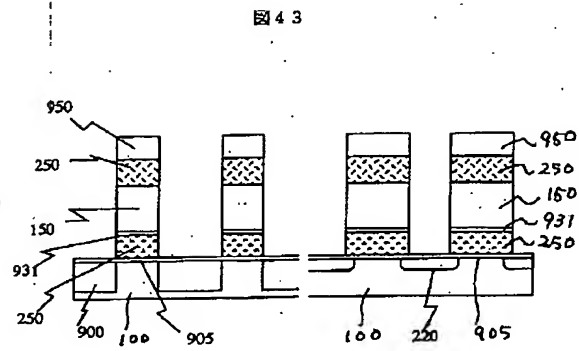
【圖42】

圖 4 2



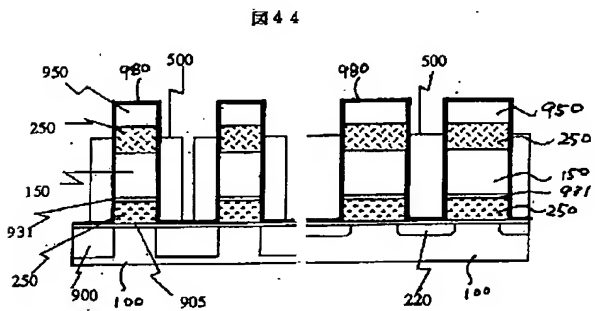
【圖43】

圖 4 3



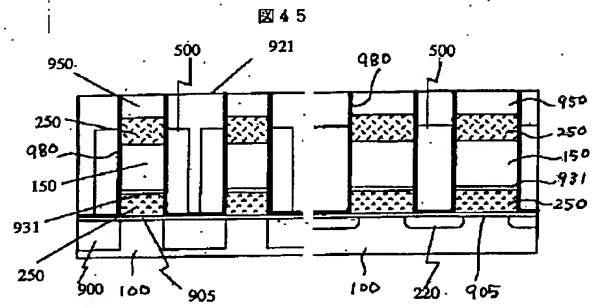
【圖44】

圖 4 4



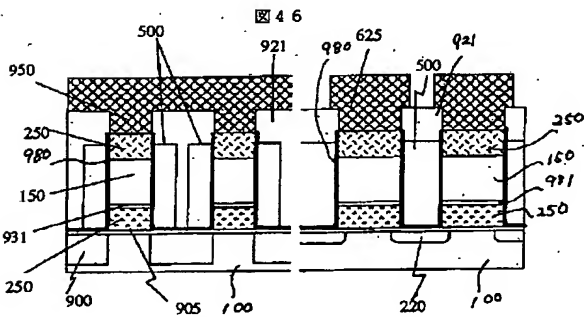
【圖45】

圖 4 5



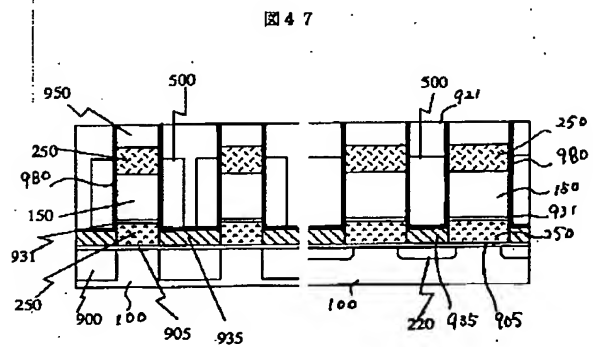
【圖46】

圖 4 6

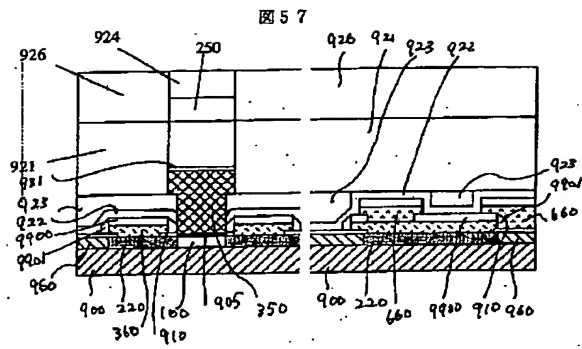


【圖47】

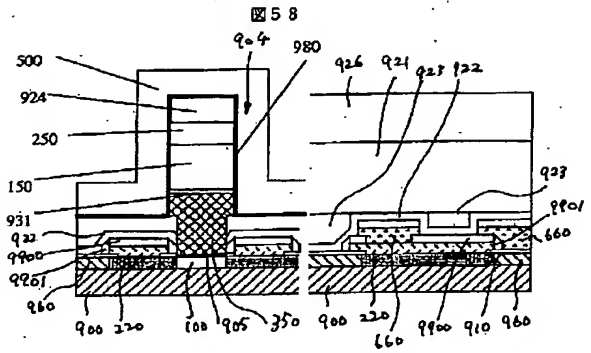
圖 4 7



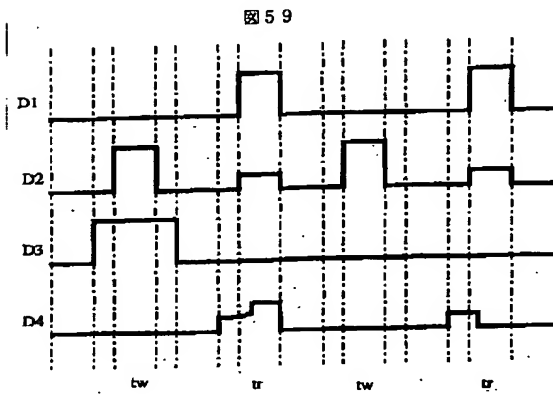
【图57】



【图58】



【图59】



【图60】

